

Zu den Strukturbesonderheiten
der K-Na-Feldspäte in Abhängigkeit von
ihrem Na-Gehalt

Inaugural-Dissertation

ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES
DER PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT
ZU MARBURG

vorgelegt von

HORST SAALFELD

aus Königsberg/Ostpr.

MARBURG 1950



STUTTGART
E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
(ERWIN NÄGELE)

Als Dissertation angenommen am 17. Juli 1950
Berichterstatter: Professor Dr. H. O'DANIEL
Mitberichterstatter: Professor Dr. C. HERRMANN
Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 1950

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Sonderdruck aus dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie.
Abhandlungen. Band 83. Heft 2/3. 1951. S. 347—374.

Zu den Strukturbesonderheiten der K-Na-Feldspäte in Abhängigkeit von ihrem Na-Gehalt¹

Von

H. Saalfeld, Marburg

Mit 23 Abbildungen und 2 Tabellen im Text und auf Taf. VIII—X

Inhaltsübersicht

	Seite
I. Problemstellung	
A. Struktur der Feldspäte	348
B. Lamellenbau und Mischbarkeit	349
C. Fehlordnungs-Erscheinungen in Kristallen	351
II. Experimentelle Untersuchungen und ihre Auswertung	
A. Allgemeines	
1. Das verwendete Material	352
2. Untersuchungsmethoden	353
3. Bezeichnungsweise der Alkalifeldspäte	353
4. Verzwillingungen	353
B. Beobachtungen an den ungetemperten Feldspäten	
1. Fehlordnung	355
2. Gitterverzerrung	358
3. Die triklinen Reflexe	359
C. Homogenisierung und Ausscheidung	
1. Homogenisierung der Feldspäte	364
2. Ausscheidung	366
III. Keimbildungsfragen	
1. Theorie der Keimbildung	367
2. Keimbildungsvorgänge bei den Feldspäten	371
Zusammenfassung	373
Schrifttum	374

¹ Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophischen Fakultät der Universität Marburg.

I. Problemstellung

In der folgenden Arbeit wird der Versuch unternommen, auf röntgenographischem Wege einen tieferen Einblick in die Struktur der Alkalifeldspäte zu tun und einige Fragen zu klären, die mit der Verzwillingung, der Mischbarkeit und Entmischung dieser Feldspäte im Zusammenhang stehen. Insbesondere soll der Vorgang der Homogenisierung beim Tempern röntgenographisch untersucht und hieraus einige Aussagen über Keimbildung und Wachstum gemacht werden. Bei der Auswertung der experimentellen Ergebnisse ist den neueren Anschauungen über Fehlordnung und statistische Unordnung in Kristallen Rechnung getragen worden. Zunächst möge eine kurze chronologische Übersicht der wichtigsten Arbeiten folgen über

A. Struktur der Feldspäte

F. MACHATSCHKI (1) (1928) erkannte das eigentliche Bauprinzip der Silikate und damit war dann auch eine erfolgreiche Strukturbestimmung der Feldspäte möglich.

Hiernach ist das Grundprinzip der Silikatstruktur das SiO_4 -Tetraeder, d. h. jedes Si-Atom ist tetraedrisch von 4 O-Atomen umgeben. Diese SiO_4 -Gruppen ordnen sich bei den Feldspäten zu einer Gerüststruktur, in deren Hohlräumen die Kationen sitzen.

W. H. TAYLOR (2) (1933) unternahm eine erste brauchbare Strukturbestimmung der Feldspäte am Sanidin. Hiernach treten je 4 SiO_4 -Tetraeder zu einem Ring zusammen. Diese Viererringe sind längs der kristallographischen a-Achse kettenartig miteinander verbunden. Die Kationen liegen in den Symmetrieebenen.

W. H. TAYLOR (3) (1934) zusammen mit DARBYSHIRE und STRUNZ veröffentlichte eine Fortsetzung seiner Feldspat-Untersuchung. Sie wurde auf die Bariumfeldspäte erweitert, welche annähernd gleiches Gitter wie der Sanidin besitzen. Das gleiche gilt für die Plagioklase. Der einzige Unterschied besteht in einer Zusammenziehung und geringen Verdrehung des Gitters um das kleinere Na-Ion herum, was zu einer Verkürzung der a-Achse (um etwa $0,5 \text{ \AA}$) führt. Das Na-Ion tritt aus den Symmetrieebenen heraus und die Struktur wird dadurch triklin.

H. CHÃO, A. HARGREAVES, W. H. TAYLOR (4) (1940) unternahmen einen weiteren Schritt in der Orthoklas-Untersuchung an einem fast reinen Kalium-Feldspat. Mit Hilfe von FOURIER-Synthesen wurden die Atomparameter verbessert.

W. F. CÔLE, H. SÖRUM, O. KENNARD (5) (1949) veröffentlichten eine Arbeit der Kristallstruktur des erhitzten Orthoklas. Ausführliche FOURIER-Synthesen lassen keine gesetzmäßige Verteilung von Al- und Si-Tetraedern erkennen. Die Kationen ändern ihre Lage gegenüber dem ungetemperten Zustand nicht. Als sehr genaue Gitterkonstanten des Orthoklas wurden gemessen:

	a	b	c	$\angle \beta$
ungetempert . .	8,562 Å	12,996 Å	7,193 Å	116,015°
getempert . . .	8,564 Å	13,030 Å	7,174 Å	115,994°

B. Lamellenbau und Mischbarkeit

E. MALLARD (6) (1876) stellte als erster die Theorie auf, daß die monokline Symmetrie der Orthoklase zurückzuführen sei auf eine lamellare Verzwilligung äußerst feiner trikliner Individuen.

KÔZU und ENDÔ (7) (1921), sowie KÔZU und SUZUKI (8) (1921) untersuchten röntgenographisch Adulare und Mondsteine in verschiedenen Temperaturbereichen bis 1100° C. Die Adulare erwiesen sich als durchweg monoklin. Die Mondsteine hatten das gleiche LAUE-Bild: die Reflexe der Zonenellipsen entsprachen denen des Adulars, sie waren jedoch aufgespalten. Beim Erhitzen verschwand die Aufspaltung allmählich, um bei etwa 1000° einen einzigen Reflex zu bilden. Auch der charakteristische Schiller war verschwunden. Beim Abkühlen trat beides wieder in Erscheinung. Aus diesem Verhalten wurde nun geschlossen, daß die Mondsteine aus Ab und Or (es werden die Abkürzungen benutzt: Or = Orthoklas, Ab = Albit, An = Anorthit) zusammengesetzt sind, derart, daß bei hoher Temperatur ein homogener Mischkristall vorliegt, der beim Abkühlen entmischt.

A. HADDING (9) (1921) untersuchte mit LAUE-Aufnahmen eine große Anzahl von Feldspäten verschiedenster Zusammensetzung und kam bezüglich der Alkalifeldspäte zu folgenden Ergebnissen:

- auch im reinen Orthoklas liegt Albit in triklinen Lamellen vor,
- es gibt keine homogene Mischungsreihe zwischen Or und Ab,
- die monoklinen Feldspäte sind nur submikroskopische Verzwilligungen trikliner Individuen,
- die Feldspäte zeigen strukturell keine großen Unterschiede.

E. SPENCER (10) (1930) beschrieb mehrere Mondsteine. Er untersuchte sie chemisch, makroskopisch und mikroskopisch, wobei er die Auffassung vertritt, daß der bei den Mondsteinen charakteristische Schiller nur auf den Lamellenbau zurückzuführen sei. Die Untersuchungen werden bei Temperaturen bis 1100°C fortgesetzt und die Ergebnisse in Diagrammen zusammengefaßt. Erwähnenswert ist die Tatsache, daß beim hochoerhitzten Kristall während der nachfolgenden Abkühlung der Schiller nicht mehr in Erscheinung tritt, d. h. die Homogenisierung ein irreversibler Vorgang zu sein scheint.

E. SPENCER (11) (1937) bringt in Fortsetzung seiner Mondsteinarbeit (10) eine systematische Übersicht über die Alkalifeldspäte. Insgesamt wurden 26 Exemplare chemisch und physikalisch untersucht und geordnet nach steigendem Ab-Gehalt mit den Meßergebnissen in einer Tabelle zusammengefaßt.

Der funktionelle Zusammenhang zwischen physikalischen Eigenschaften und chemischer Zusammensetzung wird in getemperten und ungetemperten Alkalifeldspäten in Diagrammen zusammengestellt.

T. ITO (12) (1939) untersuchte einen koreanischen Mondstein auf seine lamellare Verzwilligung hin. Das reziproke Gitter wurde für verschiedene mögliche Fälle konstruiert und mit den Röntgenaufnahmen verglichen. Die Existenz eines monoklinen Natriumfeldspates wird gefordert.

H. CHÃO, D. L. SMARE, W. H. TAYLOR (13) (1939) unternahmen den Versuch, einige Mikroperthite verschiedener Zusammensetzung röntgenographisch zu untersuchen, um hieraus einige Schlüsse auf den strukturellen Bau dieser Feldspäte zu ziehen. Die Versuche wurden bei hoher Temperatur an den gleichen Stücken wiederholt und die Aufnahmen miteinander verglichen. Im ungetemperten Mikroperthit konnten zwei ähnliche Strukturen unterschieden werden, die eine (Kali-Feldspat) ist monoklin, die andere (Natrium-Feldspat) dagegen triklin, aber von reinem Albit unterschieden. Im getemperten Kristall war nur noch eine Struktur vorhanden.

H. CHÃO, W. H. TAYLOR (14) (1940) veröffentlichten eine Arbeit, in der sie den Versuch unternahmen, mit Schwenkaufnahmen einen systematischen Überblick über die verschiedenen Mikroperthite zu erhalten. Sie gehen von der Auffassung aus, daß die Lamellen in den Mikroperthiten Ausscheidungsgebiete der größeren

K-Ionen einerseits und der kleineren Na-Ionen andererseits innerhalb eines im wesentlichen gleichmäßigen Tetraedergerüstes darstellen. Die Achsen *b* und *c* sind für Kalium- und Natriumfeldspat nahezu gleich, während ein merklicher Unterschied nur in Richtung der *a*-Achse vorhanden ist.

Mit steigendem Albitgehalt werden verschiedene Typen unterschieden und die in ihnen auftretenden Zwillingsformen besprochen.

C. Fehlordnungs-Erscheinungen in Kristallen

Schon seit langem ist bekannt, daß das Gitter eines Kristalls nicht ideal ausgebildet ist, sondern meist irgendwelche Baufehler aufweist. Der Name „Realkristall“ deutet schon auf diesen Tatbestand hin. Es soll nun hier nicht auf die Fülle derjenigen Erscheinungen eingegangen werden, die den Realkristall vom Idealkristall unterscheiden, sondern nur auf einen Unordnungszustand, der auch bei manchen Feldspäten anzutreffen ist und der auch einiges Licht in den strukturellen Aufbau werfen kann. Es ist die als „Fehlordnung“ bezeichnete Erscheinung. Unter einem ein-dimensional fehlgeordneten Kristall versteht man nach H. JAGODZINSKI und F. LAVES (15) einen solchen, der in zwei beliebigen Translationsrichtungen streng, in der dritten Richtung aber nur statistisch geordnet ist. Bezogen auf das reziproke Gitter heißt das: zwei Translationsvektoren sind genau definiert, während sich für die dritte Richtung kein definierter Vektor angeben läßt. Es entstehen sogenannte „Gitterstäbe“, die auf der Röntgenaufnahme kontinuierlich geschwärmte Kurven auftreten lassen.

Auch an Feldspäten kann diese Erscheinung beobachtet werden, worüber weiter unten berichtet wird.

Aus dem reichhaltigen o. a. Beobachtungsmaterial an Feldspäten läßt sich zusammenfassend folgendes sagen:

1. Die Struktur des reinen Kaliumfeldspats ist heute sehr genau bekannt.
2. Das Gitter der übrigen Feldspäte, einschließlich das der Plagioklase, ist dem Orthoklasgitter sehr ähnlich. Das kleinere Na-Ion verursacht geringe Verzerrungen des Tetraedergerüstes, was zu etwas veränderten Achsenlängen (insbesondere von *a*) und Achsenwinkeln führt.

3. Das Tetraedergerüst eines Mikroperthits verläuft kontinuierlich durch den ganzen Kristall. An den Stellen hoher Kaliumionenkonzentration tritt uns das Gitter optisch als Orthoklaslamelle, an Stellen hoher Natriumionenkonzentration als Albitlamelle entgegen. Zur Beibehaltung eines gleichmäßigen Gitters ist eine Verzwillingung der triklinen Lamellen erforderlich. Als solche treten fast nur Verzwillingungen nach dem Albit- und Periklingesetz auf.
4. Beim Erhitzen der Mikroperthite erfolgt Homogenisierung, d. h. die Lamellen lösen sich auf.
5. Die bisher ermittelten Schmelzdiagramme des Or—Ab-Systems können die tatsächlichen Verhältnisse nur in erster Näherung wiedergeben, da die Entmischungsvorgänge nicht einheitlich verlaufen, die „Feldspatschmelze“ außerdem inhomogen ist und beim Abkühlen glasig erstarrt.

Um nun zu einem tieferen Verständnis der Struktur und des Verhaltens der Alkalifeldspäte zu gelangen, wird in den weiteren Abschnitten an die Klärung folgender Fragen herangegangen:

1. Strukturfeinheiten der Mikroperthite. Genauere Untersuchung der vorliegenden Verzwillingungen. Gitterverzerrungen.
2. Beschreibung und Deutung der auftretenden Unordnungserscheinungen. Abweichungen vom Idealfall.
3. Verhalten der Mikroperthite beim Erhitzen und nachträglichen Abkühlen.
4. Keimbildungsfragen.

II. Experimentelle Untersuchungen und ihre Auswertung

A. Allgemeines

1. Das verwendete Material

Zur Untersuchung wurden folgende vier Feldspäte herangezogen:

- a) Adular von Tirol
- b) Mondstein von Ceylon
- c) Mikroperthit von Brevig (Norwegen)
- d) Sanidin von Wehr (Eifel)

Als Vergleich wurden noch eine Reihe weiterer Feldspäte herangezogen.

2. Die Untersuchungsmethoden

Von jedem untersuchten Feldspat wurde eine quantitative chemische Analyse durchgeführt, um den „Mineralbestand“, d. h. den Prozentgehalt Or, Ab, An zu ermitteln. Ferner wurden von jedem Kristall eine Reihe von Dünnschliffen angefertigt und diese im Drehtisch vermessen, soweit dies die perthitische Struktur zuließ. Die getemperten Kristalle wurden ebenfalls optisch untersucht.

Das Schwergewicht der Untersuchung lag jedoch bei den röntgenographischen Methoden. LAUE-Aufnahmen dienten zum Aufsuchen der Fehlordnungsrichtungen. Diese wurden dann mit Schwenk- und WEISSENBERG-Aufnahmen genauer weiterverfolgt. Die verwendete Strahlung war CuK_α (teilw. streng monochr.).

Die Homogenisierung der Mikroperthite erfolgte in selbstregulierenden Temperöfen, welche die Temperatur im Bereich weniger Grade konstant hielten.

3. Bezeichnungsweise der Alkalifeldspäte

E. SPENCER hat in seiner Arbeit über die K-Na-Feldspäte (11) 26 Exemplare dieser Reihe nach steigendem Ab-Gehalt geordnet und beginnend beim reinen K-Feldspat von A—Z durchnummeriert. W. H. TAYLOR und seine Mitarbeiter (13, 14) haben später diese Bezeichnungsweise übernommen und unterscheiden bei den Mikroperthiten folgende Typen:

F-Typ: 10—30% Ab

M-Typ: 30—50% Ab

P-Typ: über 50% Ab

Wie später gezeigt wird, gibt es auch Zwischenformen. Trotzdem möge im folgenden diese Einteilung beibehalten werden.

4. Verzwillingungen

Zunächst möge noch einmal kurz auf die Zwillingsgesetze eingegangen werden, nach denen die triklinen Individuen in den Mikroperthiten verwachsen sind.

a) Albit-Gesetz

Das Albit-Gesetz ist ein Ebenengesetz, d. h. die beiden triklinen Zellen werden durch eine Ebene, die zur Symmetrieebene wird,

ineinander überführt. Diese Ebene, beim Albit (010), ist zugleich Zwillings- und Verwachsungsebene. In Abb. 1 ist die Ebene $b'c'$ des reziproken Gitters eines Albitzwillings dargestellt. Die reziproken Achsen b'_1 und b'_2 fallen zusammen und stehen senkrecht

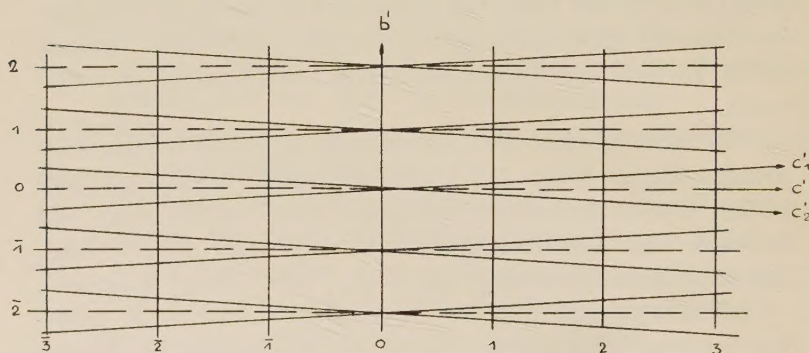


Abb. 1. Reziproke $b'c'$ -Ebene eines Albitzwillings. Die monoklinen Achsen sind gestrichelt.

auf der Ebene (010). Auch die reziproken Achsen a'_1 und a'_2 fallen praktisch zusammen, wie eine einfache Rechnung zeigt. Nur die reziproken Achsen c'_1 und c'_2 bilden einen Winkel miteinander. Die reziproke monokline c' -Achse ist gestrichelt gezeichnet.

b) Periklin-Gesetz

Durch Drehung um die b -Achse wird das eine triklin Individuum in das andere überführt. Die Verwachsungsfläche ist bei den Plagioklasen meist irrational. Abb. 2 zeigt wieder das rezi-

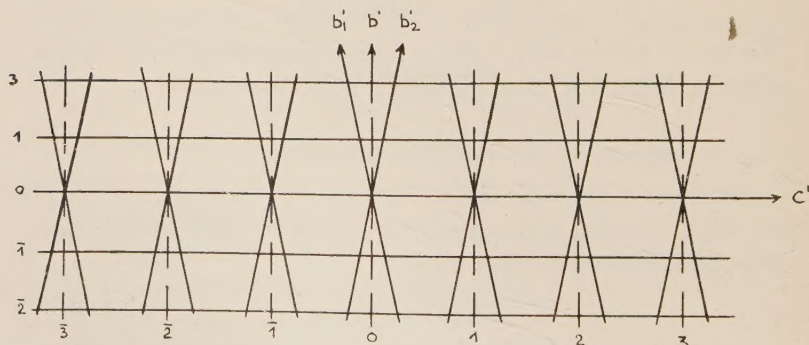


Abb. 2. Reziproke $b'c'$ -Ebene eines Periklinzwillings. Die monoklinen Achsen sind gestrichelt.

proke Gitter eines solchen Zwillings. Die Achsen b_1' und b_2' bilden nun einen Winkel miteinander, da für beide Individuen die Ebene (010) verschieden orientiert ist. Dafür fallen praktisch die reziproken Achsen a_1' und a_2' sowie c_1' und c_2' zusammen. Auch hier ist der monokline Fall gestrichelt eingetragen.

Nachstehend sei noch eine Tabelle angeführt, welche die wichtigsten Feldspatkonstanten enthält, wie sie bereits Ito in seiner Arbeit (12) zusammenstellte. Die Werte wurden jedoch auf Grund neuerer Messungen korrigiert.

Kristallgitter			Reziprokes Gitter		
	Orthoklas	Albit		Orthoklas	Albit
a	8,56 Å	8,12 Å	a'/λ	0,130 Å ⁻¹	0,138 Å ⁻¹
b	12,99 Å	12,86 Å	b'/λ	0,077 Å ⁻¹	0,078 Å ⁻¹
c	7,19 Å	7,17 Å	c'/λ	0,155 Å ⁻¹	0,156 Å ⁻¹
α	90° 00'	94° 03'	α'	90° 00'	86° 24'
β	116° 01'	116° 30'	β'	63° 59'	63° 34'
γ	90° 00'	88° 09'	γ'	90° 00'	90° 03'

B. Beobachtungen am ungetemperten Material

1. Fehlordnung

Die hier untersuchten Feldspäte sind Glieder der Reihe Orthoklas—Albit. Ihre chemische Zusammensetzung, einige makroskopische und mikroskopische Merkmale sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Trotz des zum Teil hohen Gehaltes an Na-Feldspat ist das Wirtgitter monoklin. Die Na-Ionen können nun in diesem Gitter völlig gleichmäßig verteilt sein, so daß weder optisch noch röntgenographisch irgendwelche „Albitbereiche“ nachweisbar sind. Dies ist beim Sanidin der Fall, der optisch völlig homogen erscheint und dessen Röntgenaufnahmen sich durch ihre Klarheit, ihre Schärfe und das Fehlen jeglicher Untergrundschwärzung auszeichnen. Kommt es jedoch zu einer Bildung trikliner Bereiche, so können folgende Fälle der Fehlordnung auftreten:

- a) Verschiebungs-Fehlordnung: der Übergang vom monoklinen zum triklinen Gitter erfolgt kontinuierlich. Die Atome der Übergangsgebiete erleiden infolge Verzerrung des Gitters

Nr.	Art	Fundort	Chemismus				Makroskopisch	Mikroskopisch	2V	Ausl. S. (100) auf Gr.M. c
			Or	Ab	An	Tot.				
1	Adular	Tirol	29,10	69,51	0,85	99,46	gut ausgebildet, weisslich-blauer Schiller	homogen	60°	5° 6'
2	Mondstein	Ceylon	59,21	37,90	2,47	99,58	weisslicher Schiller auf (100) und (110)	Albitlamellen in der Grund- masse (100)	70°	9,7°
3	Mikroperthit	Brevig Norwegen	41,91	55,84	1,94	99,69	hellbraun, undurch- sichtig, intensiver weisslicher Schiller auf (100) und (110)	In der Grundmasse liegen grosse Albit- lamellen (100)	48°	9°
4	Sanidin	Wehr Eifel	68,61	26,47	3,32	98,40	Glasig, klar	homogen	20° AE in (101)	5° 6'
Monokl. Reflexe		Trikl. Reflexe		Gitterver- zerrung	Bemerkungen					
		Albit	Periklin							
1	diffus ausge- schwärzt	-	als schwache Begleiter stör- kerer mon. Re- flexe sichtbar. Diffus.	deutlich vorhanden						
2	scharf	jeder Reflex weist eine Fein- struktur auf	-	stark						
3	scharf	diffus	diffus	stark	Geringer Fe-Gehalt verursacht Unter- grundschwärzung					
4	scharf	-	-	-						

Tab. I. Ungetemperte Feldspäte.

gewisse Lageverschiebungen gegenüber dem normalen Fall. Dies bedeutet, daß die strenge Periodizität in bestimmten Richtungen beeinträchtigt wird, was sich in diffusen Aus-
schwänzungen zu erkennen gibt.

- b) Mikroverzwillingungs-Fehlordnung: feine trikl. Zwilling-
lamellen wechseln in statistischer Weise miteinander ab.
Die Interferenzen zeigen diffuse Höfe, welche von der Lamel-
lendicke abhängig sind.

Eine LAUE-Aufnahme des Adulars zeigt nun bei starker Be-
leuchtung eine Schwärzung bestimmter Zonen (Abb. 3), was als

Fehlordnungserscheinung gedeutet werden kann. Das heißt, in gewissen Richtungen liegt eine statistische Schichtfolge vor. Eine einfache Überlegung am reziproken Gitter gestattet nun, aus diesen Zonen die Fehlordnungsrichtungen zu finden. Es sind dies die Richtungen $[010]$ und $[110]$. Ein Blick auf das von TAYLOR angegebene Strukturbild (2) zeigt, daß sich die Kationen in einfacher Weise zu Schichten anordnen lassen, die für die Fehlordnung verantwortlich sein können. Um zu entscheiden, ob die Massendichte dieser mit Kationen besetzten Ebenen wirklich so groß ist, daß sich diese Ebenen als selbständige Schichten gegenüber dem Tetraedergerüst herausheben, genügt es, eine eindimensionale FOURIER-Synthese durchzuführen. Dies wurde für die Richtung $[010]$ berechnet. Die Werte der Strukturfaktoren $F_{(0k0)}$ sind der Arbeit von CÔLE, SÖRUM und KENNARD (5) entnommen. Das Ergebnis zeigt Abb. 4.

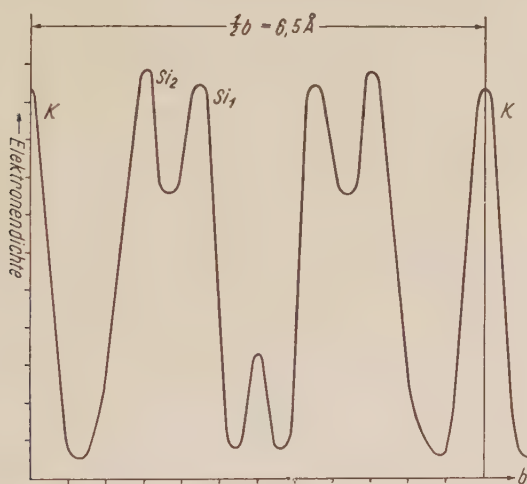


Abb. 4. Elektronendichte-Verteilung projiziert auf b . (Auf Verf. 1. 6. 51.)

Die Richtung $[010]$ verläuft längs der Abszisse, während auf der Ordinate die Elektronendichte aufgetragen ist. Das Diagramm läßt erkennen, daß die Ebenen, in denen die K-Ionen sitzen (im Adular teilweise durch Na-Ionen ersetzt) durchaus als „Schichten“ angesprochen werden dürfen. Der Abstand zweier Schichten entspricht der halben b -Translation (etwa $6,5 \text{ \AA}$). Auch längs der Richtung $[110]$ lassen sich die Kationen in ähnlicher Weise zu

Schichten zusammenfassen (Schichtabstand etwa $7,1 \text{ \AA}$). [010] und [110] sind aber gerade diejenigen Richtungen, die für die Fehlordnung nach den Überlegungen am LAUE-Bild in Frage kommen, so daß man annehmen kann, daß die Kationen die Schwärzung der Zonen hervorrufen.

Zur weiteren Untersuchung wurden Schwenk- und WEISSENBERG-Aufnahmen gemacht. Schwenkaufnahmen um [010] lassen nun deutlich erkennen, daß die Reflexe in Richtung der Schichtlinien II. Art (kurz: Schichtlinien II) diffus ausgeschwärzt sind (Abb. 5), d. h. Fehlordnung längs [010] vorliegt.

CHÃO und TAYLOR (14) stellten fest, daß die monokline *a*-Achse beim F-Typ (wozu der Adular gehört) gegenüber reinem Kaliumfeldspat um etwa $0,5 \text{ \AA}$ verkürzt ist. Sie führen diese Verkürzung auf die im Gitter gelösten Na-Ionen zurück.

Eine Bestätigung dieser Auffassung ist nun durch die beobachtete Fehlordnung gegeben. Die Verteilung von Na- und K-Ionen im Wirtgitter ist nun nicht völlig regellos, sondern es wechseln sich überwiegend Na- und K-haltige Netzebenen statistisch ab, ohne dadurch die Gitterkonstanten wesentlich zu verändern.

Beim Mondstein und Mikroperthit ist von dieser Fehlordnung nichts zu beobachten, was bedeuten würde, daß das Kaliumgitter im wesentlichen frei von Na-Ionen ist. Auch dies steht im Einklang mit den Schlüssen, die CHÃO und TAYLOR aus Gitterkonstanten-Messungen an ähnlich zusammengesetzten Feldspäten ziehen.

Stark belichtete Schwenkaufnahmen des Adulars um die Richtung [110] lassen ebenfalls, wenn auch viel schwächer, diffuse Ansätze längs der Schichtlinien II erkennen. Wegen ihrer außerordentlich geringen Intensität ist aber diese Fehlordnungsrichtung im folgenden nicht weiter berücksichtigt worden.

2. Gitterverzerrung

Aus Schwenkaufnahmen um [010] beim Adular, Mondstein und Mikroperthit geht hervor, daß immer eine Seite der Aufnahme diffuse Reflexe aufweist, deren Intensität vom Primärstrahl nach höheren Glanzwinkeln rasch abfällt, während die Reflexe der anderen Seite scharf und in ihrer Intensität ungeschwächt sind. Diese Beobachtung ließ eine Gitterverzerrung in bestimmten Richtungen vermuten. Das ganze reziproke Gitter wurde daher mit

Schwenkaufnahmen erfaßt und hieraus die Verzerrungsrichtung ermittelt. Abb. 6 zeigt die reziproke $a'c'$ -Ebene, in der die verzerrten Bereiche schraffiert sind. Man erkennt deutlich, daß nur die Gitterrichtungen längs der kristallographischen c -Achse un-

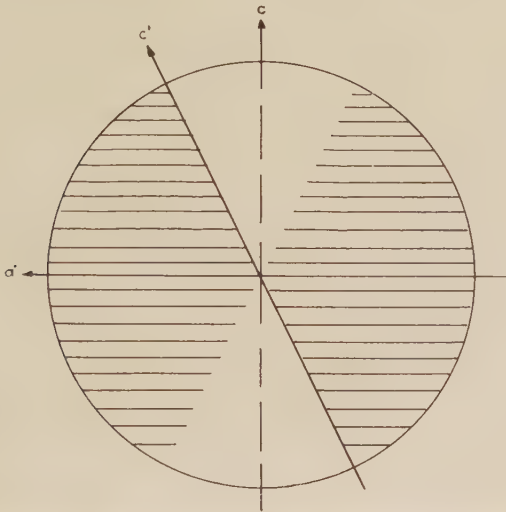


Abb. 6. Reziproke $a'c'$ -Ebene. Die verzerrten Gitterbereiche sind schraffiert.

verzerrt sind. Das gleiche Bild ergibt sich für die $b'a'$ -Ebene, wo nach b hin keine Verzerrung vorliegt, wohl aber nach a . Der Hauptgrund für diese Gitterverzerrung ist in der verschiedenen Länge von monokliner und trikliner a -Achse zu suchen (beim Mondstein $0,53 \text{ \AA}$). Dies wird durch die weiter unten beschriebenen Temperversuche bestätigt. Dieser Effekt, der bei der Auswertung diffuser Reflexe immer berücksichtigt werden muß, ist beim Mondstein am stärksten, aber auch beim Adular und Mikroperthit deutlich wahrnehmbar. Hinzu kommt noch eine Kleinwinkelstreuung, die ihre Ursache in zahllosen winzigen Ausscheidungskeimen hat. Auch diese Keime, auf die noch später eingegangen wird, tragen sicherlich zu Gitterspannungen bei.

3. Die triklinen Reflexe

- a) Adular: Aus den Schwenkaufnahmen geht hervor, daß die stärkeren Reflexe (vor allem die Reflexe $h k 0$ mit größeren Werten von h) einen schwachen Begleiter besitzen (Abb. 5),

der, wie sich durch WEISSENBERG-Aufnahmen zeigen läßt, längs der c-Achse aufgespalten ist. CHÃO und TAYLOR (14) sind der Ansicht, daß diese Reflexe von dem Natriumüberschuß herrühren, den das Kalium-Gitter nicht mehr zu lösen vermochte und der in triklinen Mikroperthitlamellen vorliegt, jedoch mit Winkeln α und γ sehr nahe 90° . Auch die a-Achse ist merklich kürzer als die der monoklinen Zellen. Diese schwachen Reflexe sind nach dem Periklingesetz verzwillingt. WEISSENBERG-Aufnahmen um a und c lassen nun deutlich erkennen, daß die beiden triklinen Reflexe nicht scharf ausgebildet sind, sondern diffus ineinander übergehen. Die Zwillinglamellen bilden also keinen plötzlichen Übergang, sondern gehen kontinuierlich über alle möglichen Zwischenformen ineinander über. Eine schwache diffuse Verbindung besteht nun auch zwischen den triklinen Reflexen und den entsprechenden monoklinen. Dies läßt den Schluß zu, daß der Übergang von den verzwillingten triklinen Bereichen zu den monoklinen Orthoklaszellen ebenfalls kontinuierlich sein muß. Die geringe Intensität der diffusen Verbindungslinien läßt auf nicht sehr ausgedehnte Übergangsbereiche schließen. Abb. 7 zeigt die Photometerkurve des Reflexes ($20\bar{1}$) einer mit monochromatischer CuK_α -Strahlung gemachten Aufnahme. Monoklines und triklinen Maximum verschwimmen ineinander.

- b) Mondstein: CHÃO und TAYLOR berichten (14), daß die triklinen Lamellen im Mondstein nach dem Albit-Gesetz verzwillingt sind. Sie weisen bereits darauf hin, daß die triklinen Reflexe nicht scharf, sondern diffus sind und eine Feinaufspaltung zeigen. Schwenk- und WEISSENBERG-Aufnahmen lassen erkennen, daß von definitiven triklinen Reflexen nicht die Rede sein kann, sondern daß statt dessen Reflexgruppen auftreten, die bei Schwenkaufnahmen um b längs der Schichtlinien II verlaufen (Abb. 8). Fast jeder monokline Reflex ist symmetrisch von solchen triklinen Reflexgruppen umgeben, die, wie weitere Aufnahmen zeigen, um so mehr von den entsprechenden monoklinen Reflexen abstehen (längs den Schichtlinien I), je größer der h-Wert eines Reflexes (h k l) ist. Der Grund liegt natürlich in der Längendifferenz der monoklinen und triklinen a-Achse.

Die Aufnahmen lassen ferner erkennen, daß die triklinen Reflexe einer Gruppe durch eine Schwärzung miteinander verbunden sind. Abb. 9 zeigt eine Photometerkurve des Reflexes (002). Auf jeder Seite des monoklinen Reflexes erkennt man deutlich drei triklin Maxima, deren Intensität nach außen abfällt. Nur der mittlere triklin Reflex dürfte eigentlich auf Grund erster Überlegungen zu erwarten sein.

Die triklinen Reflexgruppen werden mit steigendem l -Wert rasch diffus und entfernen sich von den monoklinen Reflexen nach oben und unten, wie es das reziproke Gitter eines Albitzwillings verlangt. Es bestehen jedoch schwache diffuse Verbindungen zum monoklinen Reflex. Es fällt auf, daß der Abstand der Intensitätsmaxima in einer triklinen Gruppe immer der gleiche ist, unabhängig davon, ob der Reflex (hkl) einen hohen Wert für l hat oder nicht. Die triklinen Reflexgruppen sind also ihrer inneren Struktur nach bedingt durch die triklinen Gitterbereiche und unabhängig von der Achsenstellung des reziproken Gitters. Zur Veranschaulichung der Verhältnisse sind in Abb. 10 und 11 einige Reflexe, wie sie die Aufnahmen wiedergeben,

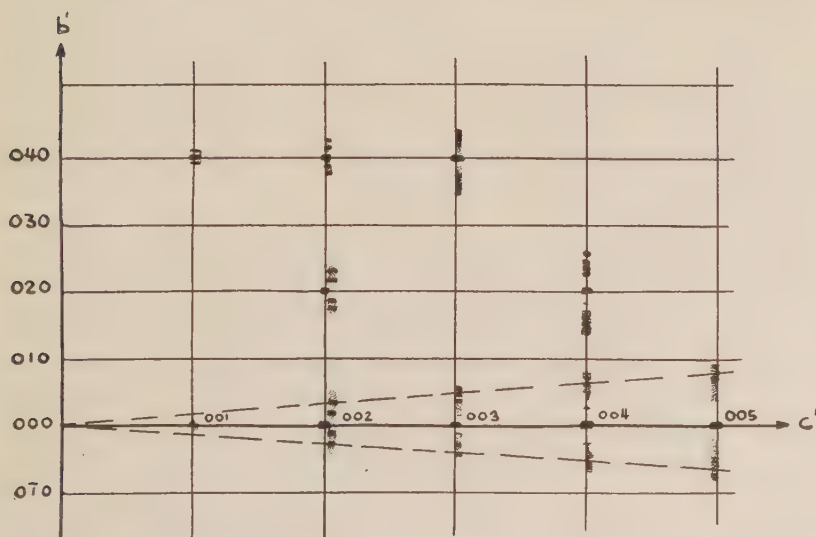


Abb. 10. Schematische Darstellung der Mondsteinreflexe in der reziproken Gitterebene $b'c'$.

schematisch in der $b'c'$ -Ebene und $a'b'$ -Ebene des reziproken Gitters dargestellt. Zu Abb. 11 sei gesagt, daß auch die triklinen Reflexe ($h k 0$) eine ganz schwache „Feinstruktur“ zeigen.

Wie lassen sich nun diese triklinen Reflexgruppen deuten? Zunächst läßt die neben den Intensitätsmaxima auftretende Schwärzung Fehlordnung vermuten, welche in einer Lagenstatistik der Na-Ionen enthaltenden Netzebenen (010) be-

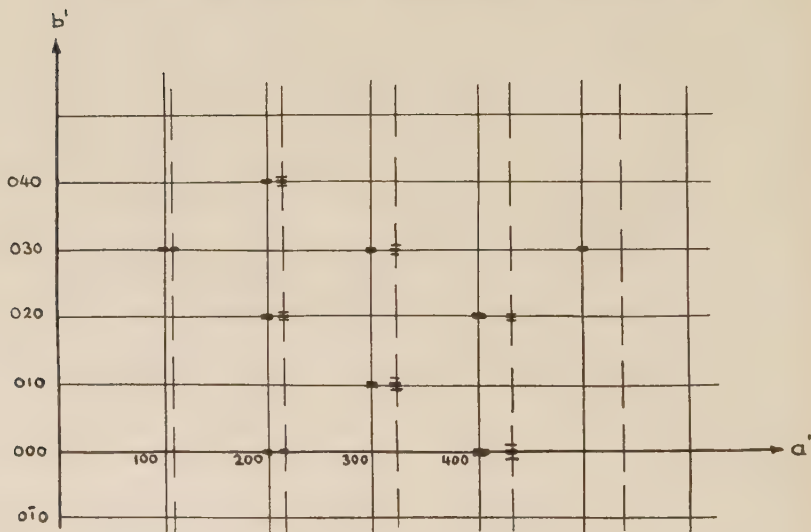


Abb. 11. Schematische Darstellung der Mondsteinreflexe in der reziproken Gitterebene $a'b'$.

gründet wäre. Die Intensitätsmaxima innerhalb einer triklinen Reflexgruppe können sicherlich als eine Überstrukturerscheinung angesehen werden, welche vielleicht durch innere Spannungen bedingt ist. Dem Abstand der einzelnen Maxima entspricht eine Translationsperiode von etwa 100 Å längs der b -Achse. Dieser Abstand ist etwas kleiner als die 8fache b -Translation (103 Å). In Abb. 12 ist die bc -Ebene eines monoklinen Orthoklas gezeichnet. Der Winkel der Albitzelle beträgt 94° , so daß die triklinen b -Achse zur monoklinen geneigt ist. Die Abbildung zeigt nun schematisch, wie man auch durch Rechnung finden kann, daß nach

8 b-Translationen Identität eintritt. Es treten innere Spannungen auf, die bis zur Mitte der Überstrukturperiode ansteigen und dann wieder abnehmen (periodischer Spannungsverlauf). Es ist dies allerdings nur ein Deutungsversuch.

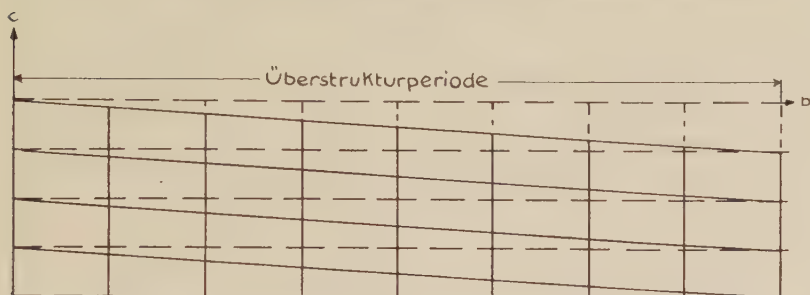


Abb. 12. Geometrische Deutung der Überstruktur. Monokline (gestrichelt) und triklin (ausgezogen) Gitterebene b c.

Die schwachen diffusen Verbindungen zu den entsprechenden monoklinen Reflexen lassen auch beim Mondstein auf kontinuierliche Übergänge schließen.

- c) Mikroperthit: Im Mikroperthit von Brevig liegt ein Feldspat vor, der sowohl nach dem Albitgesetz wie auch nach dem Periklingesetz verzwilligte triklin Bereiche aufweist. Die Albitreflexe zeigen hier aber keine Intensitätsmaxima wie beim Mondstein, sondern sie sind diffus auseinandergezogen (Abb. 13). Die WEISSENBURG-Aufnahme (Abb. 14) läßt dies deutlicher erkennen. Die beiden zusammengehörigen triklinen Reflexe gehen ineinander über. Dies bedeutet, daß auch hier kontinuierliche Übergänge vorliegen, was übrigens auch aus dem ungleichmäßigen Auslöschen der Lamellen im Polarisationsmikroskop geschlossen werden kann. Da die „Feinstruktur“ der Reflexe fehlt, kann es offenbar aus irgendwelchen Gründen nicht zur Überstruktur kommen, wie sie beim Mondstein vorlag. Daß die Überstruktur doch in Erscheinung treten kann, zeigen Temperversuche (siehe weiter unten!).

Die nach dem Periklingesetz verzwilligten Bereiche sind hier wesentlich ausgeprägter als beim Adular. Wie die Abb. 2 zeigt, muß bei dieser Verzwilligung jeder monokline Reflex,

außer ($h0l$), von einem Paar trikliner Reflexe begleitet sein, das aber im Gegensatz zum Albitgesetz auf der gleichen Schichtlinie I liegt wie der monokline Reflex. Dies zeigen sehr schön die Abb. 13 und Abb. 14. Auch diese triklinen Reflexe sind diffus und verschwimmen ineinander, was sehr schön beim starken Reflex (040) in der WEISSENBERG-Aufnahme oben links zu sehen ist. Letztere Aufnahme ist die reziproke $b'c'$ -Ebene, d. h. jeder monokline Reflex ist kreuzweise von „Albit- und Periklinreflexen“ umgeben, ausgenommen natürlich die Reflexe ($0k0$) und ($00l$).

Aus dem Beobachtungsmaterial dieser drei verschiedenen Alkalifeldspäte läßt sich zusammenfassend schließen, daß ihnen allen gemeinsam das monokline Grundgitter ist, welches beim Adular noch erhebliche Mengen Na-Ionen gelöst enthalten muß. Diese rufen statistische Lageverschiebungen der Netzebenen (010) hervor, woraus folgt, daß eine Verschiebungsfehlordnung vorliegt und wahrscheinlich nicht eine Fehlordnung durch feine Zwillingslamellen.

Die untersuchten Feldspäte unterscheiden sich in der Anordnung der triklinen Bereiche, d. h. in der Art der Verzwillingung. Die Übergänge erfolgen überall kontinuierlich, was auf eine gewisse Dehnbarkeit des Tetraedergerüsts schließen läßt. Der große Längenunterschied von monokliner und trikliner a -Achse verursacht allerdings in den Übergangsgebieten Spannungen, die wahrscheinlich durch viele winzige Ausscheidungskeime verstärkt werden.

C. Homogenisierung und Ausscheidung

1. Homogenisierung

Um das Verhalten der Alkalifeldspäte bei erhöhten Temperaturen zu untersuchen, wurden im Bereich von 400 — 1000°C Erhitzungsversuche verschiedener Dauer durchgeführt und die abgeschreckten Feldspäte dann röntgenographisch und optisch untersucht. Die röntgenographischen Ergebnisse sind in Tab. II zusammengestellt.

Es zeigte sich, daß bei erhöhten Temperaturen ein Homogenisierungsprozeß einsetzt, derart, daß die triklinen Bereiche infolge

Tabelle II. Getemperte Feldspäte.

Nr.	Feldspat	Temp.	Dauer	Monokline Reflexe	Albit	Trikline Reflexe Periklin	Gitterverzerrung	Bemerkung
1	Adular	400°- 600° 600°- 1000°	3 d 4 h	Unverändert — " —	— —	Diffus verschwunden	Schwach verschwunden	Fehlordnung noch vorhanden
2	Mondstein	600°- 700° 950°	4 h 14 d 1 h	Verschiebung nach ausßen (höhere β -werte) Angleichung v. monokl. und trikl. a-Achse Versch. nach aussen	Verschiebung nach innen (kleinere β -werte) Stärker diffus. Versch. nach innen. Diffuse verbind. z. mon. Reflex. Überstruktur noch gut sichtbar. Stärker diffus. Überstruktur noch erkennbar. Stark diffus. Keine Über- struktur. Nur noch als schwache dif- fuse Ansätze am mon. Refl. Nicht mehr vorhanden	— —	schwächer Schwach Schwach Schwach verschwunden	
3	Mikroperthit	400° 600° 650°- 1000°	4 h 4 h, 12 h 14 d 4 h 10 d	Unverändert Verschbg. n. aussen — " — — " — — " —	Unverändert Überstruktur wird sichtbar An die mon. Reflexe heran- gerückt. Stark diffus. Nur noch als schwache diffuse Ansätze am mon. Refl. Verschwunden	Schwächer u. diffus Verschwunden — " — — " — — " —	unverändert schwächer — " — — " — verschwunden	
4	Sanidin	300°- 1000°	bis 5 d	Unverändert	—	—	—	

Diffusion von Na- und K-Ionen verschwinden. Dieser Prozeß setzt bereits bei 400° ein und verläuft bei höherer Temperatur natürlich wesentlich schneller. Die Homogenisierung erfolgt beim Adular, Mondstein und Mikroperthit in gleicher Weise. Zunächst werden die triklinen Reflexe diffus und rücken an die entsprechenden monoklinen heran (Angleichung der a-Achsen, Abb. 15 und 16). Gleichzeitig hiermit läßt die Gitterspannung nach, d. h. die Untergrundschwärzung der Röntgenaufnahmen verschwindet. Die letzten triklinen diffusen Spuren werden erst durch langes Tempern bei hoher Temperatur (um 1000°C) zur Auflösung gebracht. Das Röntgenbild eines solchen homogenisierten Feldspats ist vollkommen klar und die Reflexe sind scharf (Abb. 17).

Es besteht nun ein deutlicher Unterschied im Verhalten der Periklin- und Albitreflexe. Die Periklinreflexe lassen sich schon bei 600° sehr rasch auflösen, während die Albitreflexe sehr „zäh“ sind und erst bei hohen Temperaturen allmählich verschwinden. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß beim Mikroperthit innerhalb der Albitreflexe die schon beim Mondstein erwähnte Feinaufspaltung sichtbar wird, sobald die Periklinreflexe verschwunden sind. Wie ist das zu erklären?

Nach der oben erwähnten geometrischen Deutung hatte die Überstruktur innerhalb der Albitreflexe ihre Ursache in einer Neigung der b-Achse und der damit verbundenen Zellverschiebung. Erleiden nun die Netzebenen (010) durch Periklinverwachsungen eine Störung, so sind die Voraussetzungen zur Überstrukturbildung nicht mehr gegeben. Die Beseitigung der Störung läßt die Überstruktur wieder in Erscheinung treten und ebendies läßt sich am Mikroperthit beobachten. Da der Homogenisierungsprozeß aber schon eingesetzt hat, sind die Intensitätsmaxima nur diffus erkennbar und lösen sich schließlich bei weiterer Temperung auf.

Die getemperten Feldspäte erscheinen im Dünnschliff völlig homogen, selbst da, wo sich im Röntgenbild noch deutlich triklinen Reflexe erkennen lassen. Achsenwinkel und Auslöschungsschiefe sind reduziert; der charakteristische Schiller ist verschwunden.

2. Ausscheidung

Ein langsames Abkühlen unter 500°C läßt Ausscheidung der triklinen Lamellen vermuten; es zeigt sich aber, daß dies nur bedingt der Fall ist. Ein völlig homogenisierter Lamellenfeldspat

läßt nun weder optisch, noch röntgenographisch irgendwelche Entmischung erkennen, selbst wenn die Abkühlung sehr langsam erfolgt. Anders verhalten sich Feldspäte, die noch Reste trikliner Bereiche enthalten, also nicht völlig homogenisiert waren. Bei diesen Feldspäten wird durch Abkühlen ein rückläufiger Prozeß erkennbar. Die triklinen Reflexe werden deutlicher und rücken von den monoklinen ab, die Feinaufspaltung innerhalb der Albitreflexe beim Mondstein ist wieder schwach sichtbar und die Untergrundschwärzung ist deutlich wahrnehmbar. Es ist aber selbst bei sehr langsamer Abkühlung in keinem Falle möglich gewesen, den Ausgangszustand zu erreichen. Dies mag in Diffusionsschwierigkeiten seinen Grund haben oder aber im Wachstumsverhalten der triklinen Keime, worauf im nächsten Abschnitt eingegangen sein soll.

Alle Versuche, den Sanidin durch Abkühlen zur Entmischung zu bringen, waren negativ. Sicherlich ist einseitiger oder allseitiger Druck erforderlich, um dies zu bewirken.

III. Keimbildungsfragen

Die Ausscheidungsversuche haben gezeigt, daß die Entmischung eines homogenisierten Lamellenfeldspates mit fallender Temperatur nur dann erfolgt, wenn noch Reste der ehemaligen Ausscheidungsbereiche vorhanden sind. Liegt das nicht vor, dann tritt keine Entmischung ein. Es müssen offenbar Keime vorhanden sein, von denen aus das Wachstum der triklinen Lamellen erfolgen kann. Die Frage der Entmischung hängt damit aufs engste mit der Keimbildung zusammen.

1. Theorie der Keimbildung

Die ersten theoretischen Arbeiten stammen von BECKER (16) (17) und gehen von der Kondensation in Dämpfen aus. Die Zahl der sekundlich gebildeten Tropfen ist hiernach:

$$J = K e^{-A/kT}$$

hierin bedeuten K: Zahl der sekundlichen Zusammenstöße

A: Bildungsenergie des Keimes

k: BOLTZMANN'sche Konstante

T: Absolute Temperatur

Die Bestimmung von A ergibt sich aus der freien Energie, die zur Bildung des Keimes notwendig ist. Die Bildungsenergie A setzt sich aus einem Volumenteil und einem Oberflächenanteil zusammen:

$$A = -\frac{4}{3}\pi r^3 v + 4\pi r^2 \sigma,$$

es ist v : (freie) Volumenergie

σ : (freie) Oberflächenenergie

r : Radius des Keimes

Abb. 18 zeigt die Energie A gegen den Radius r aufgetragen. Der maximale Wert der Kurve ist die erforderliche Keimbildungsenergie, r_0 bedeutet den kritischen Keimradius. Je niedriger die

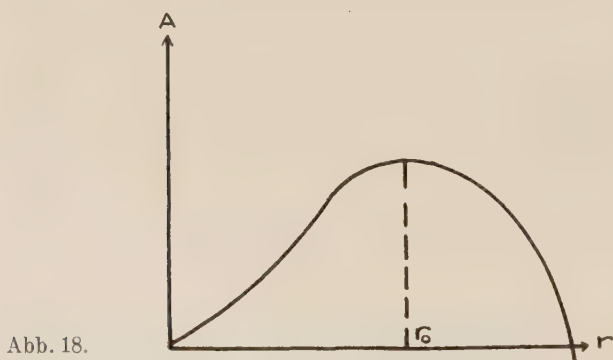


Abb. 18.

„Potentialschwelle“ ist, um so größer ist die Keimbildungshäufigkeit. Diese Überlegungen werden nun von BECKER auf die Ausscheidungsvorgänge in Metallen übertragen. Statt der Zahl der Zusammenstöße tritt hier die Platzwechsel-Wahrscheinlichkeit

$$W = e^{-Q/RT},$$

wo Q die Aktivierungsenergie für einen Platzwechsel bedeutet. Für die sekundlich gebildete Zahl wachstumsfähiger Keime gilt dann folgende Näherung:

$$J = C e^{-Q/RT} e^{-A/RT}.$$

Für einen würfelförmigen Keim mit der Kantenlänge a ist die Keimbildungsarbeit

$$A = -a^3 v + 6 a^2 \sigma.$$

Die kritische Kantenlänge a_k berechnet aus $\frac{\delta A}{\delta a} = 0$

zu
$$a_k = \frac{4\sigma}{v}.$$

In einer neuen Arbeit von JAGODZINSKI (18) werden die BECKER'schen Ansätze weiterentwickelt. Einmal wird darauf hingewiesen, daß der kritische Keimradius temperaturabhängig ist, derart, daß mit steigender Temperatur der Keimradius wächst, sodann wird zum Oberflächenteil ein a -abhängiges Zusatzglied eingeführt, das die Bedeutung einer Verzerrungsarbeit besitzt. Es ist also

$$A = -a^3v + 6a^2[\sigma + \sigma(a)],$$

hieraus errechnet sich für die kritische Kantenlänge die Beziehung

$$a_k [v - 2\sigma'(a)] = 4[\sigma + \sigma(a)].$$

Die Verzerrungsarbeit $\sigma(a)$ ist abhängig von der Keimgröße, der Volumen- und Oberflächenenergie. Mit steigender Keimgröße wachsen die Spannungen im Gitter, die dann aber, wie man vermuten sollte, bei genügender Keimgröße nur noch von der Oberflächenenergie abhängen. Für den Fall $\sigma'(a) = 0$, d. h. Volumabhängigkeit des Spannungszustandes, zeigt Abb. 19 den Ausdruck

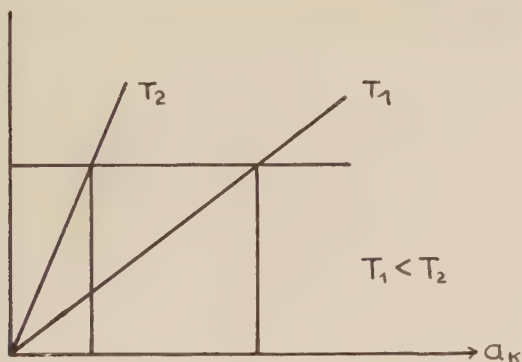


Abb. 19.

$4[\sigma + \sigma(a)_k]$ als horizontale Gerade und das Produkt a_kv als schräge Gerade, die mit steigender Temperatur immer steiler wird. Der Schnittpunkt beider Geraden ergibt die kritische Kantenlänge des Keimes.

Ist aber die Verzerrungsarbeit vom Keimvolum abhängig, so ergeben sich Kurven, die sich u. U. in mehreren Punkten schneiden, also mehrere kritische Keime bei konstanter Temperatur möglich sind. Abb. 20 zeigt einen solchen Fall. Man erkennt, daß bei der hohen Temperatur T_1 die Kurven $a[v - \sigma'(a)]$ (—) und $4[\sigma + \sigma(a)]$ (----)

die Ausbildung der durch die Ausscheidung bedingten Spannungen begünstigt, so wird die Keimbildungsarbeit in bezug auf den Spannungsanteil entscheidend herabgesetzt.

2. Keimbildungsvorgänge bei den Feldspäten

Die obigen Überlegungen stellen natürlich nur eine Näherung dar und ihre Übertragung auf die Ausscheidungsvorgänge bei den Feldspäten kann nur qualitative Schlüsse zulassen.

Zunächst seien noch einmal kurz die wichtigsten Beobachtungen beim Homogenisierungs- und Entmischungsvorgang zusammengefaßt:

- a) Die Homogenisierung verläuft zeitlich nicht gleichmäßig, sondern innerhalb der ersten Stunden rasch, dann jedoch immer langsamer. Die letzten diffusen Reste lassen sich erst bei hohen Temperaturen durch wochenlanges Tempern zum Verschwinden bringen. Abb. 21 zeigt den zeitlichen Abfall

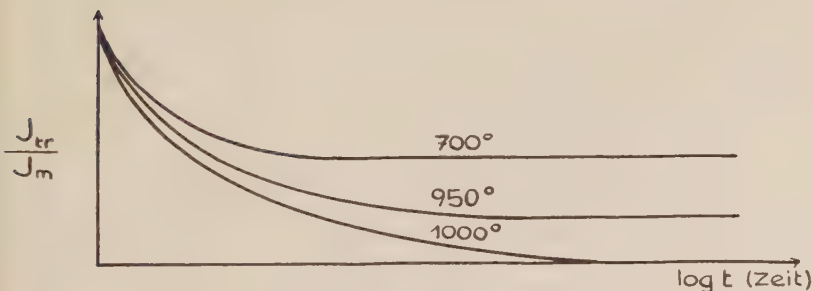


Abb. 21.

des Verhältnisses: Intensität triklin : Intensität monoklin J_{tr}/J_m bei verschiedenen Temperaturen. Die abfallende Kurve bei 700° läßt erkennen, daß der Abbau der triklinen Keime nur bis zu einem bestimmten Punkt geht, während bei 1000° die Abszisse von der Kurve geschnitten wird, dies heißt aber restlose Auflösung der triklinen Gitterbereiche.

Es sei darauf hingewiesen, daß dieser Kurvenverlauf nur wenig konzentrationsabhängig ist.

- b) Ein völlig homogenisierter K-Na-Feldspat entmischt nicht mehr. Nur von vorhandenen Keimen findet Ausscheidung

statt. Es ist nun bemerkenswert, daß diese Entmischung über einen gewissen Punkt nicht hinausgeht. Abb. 22 zeigt den geschätzten zeitlichen Ablauf der Ausscheidung. Die Entmischung erfolgt wesentlich langsamer und erreicht schließlich einen Stillstand, selbst wenn die Diffusion ein

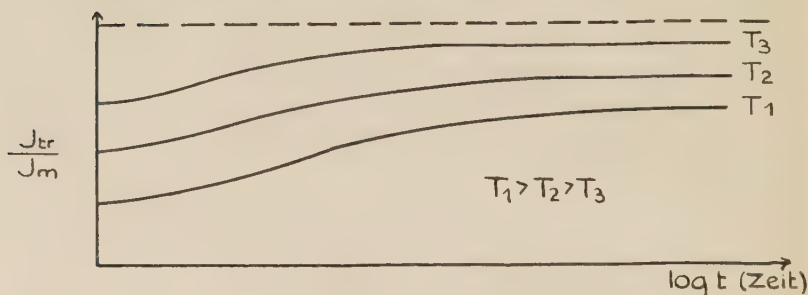


Abb. 22.

Weiterwachsen der Keime ermöglichen würde. T_1 , T_2 und T_3 sind Temperaturen, bei denen vorher homogenisiert worden war. Man erkennt aus dem Kurvenverlauf, daß in keinem Fall das ursprüngliche Verhältnis J_{tr}/J_m erreicht wird (gestrichelte Linie). Man kommt ihm aber um so näher, je niedriger die Homogenisierungstemperatur war. Auch hier ist der Konzentrationseinfluß nur gering. Gleichzeitig mit der Ausscheidung nehmen auch wieder die Gitterspannungen zu.

Wie ist nun dieses Verhalten mit den o. a. theoretischen Erörterungen erklärbar? Abb. 23 entspricht in ihrer Art der Abb. 20.

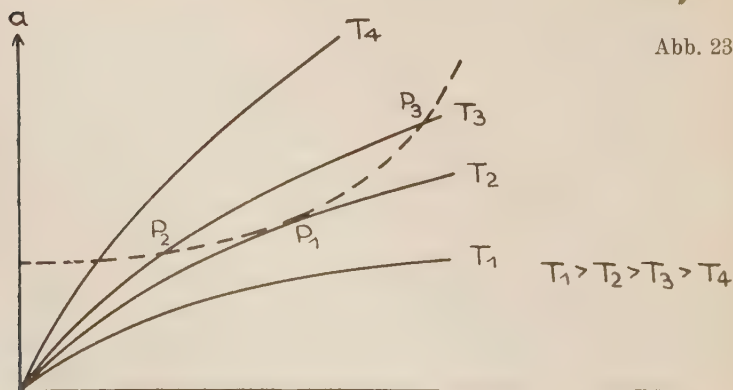


Abb. 23.

Bei der hohen Temperatur T_1 kommen die beiden Funktionskurven nicht zum Schnitt. Es können sich keine Keime bilden und eine Ausscheidung unterbleibt. Bei der niedrigeren Temperatur T_2 berühren sich die Kurven, auch hier bilden sich noch keine Keime. Vielmehr beginnt sich ein Gleichgewicht auszubilden zwischen dem Wirtgitter und ersten lockeren Ausscheidungsbereichen. Bei der noch tieferen Temperatur T_3 schneiden sich die Funktionskurven in zwei Punkten P_2 und P_3 . P_2 ist ein Maximum, P_3 ein Minimum der Keimbildungsarbeit. Es entstehen also Keime, welche bis zu einer bestimmten Größe anwachsen können. Auch hier besteht noch ein Gleichgewicht zwischen Lösung und Keimen, welches von der Höhe des Minimums P_3 abhängt. Erst bei der niedrigeren Temperatur T_4 würde vollständige Entmischung erfolgen, aber hier sind wahrscheinlich die Diffusions-Schwierigkeiten schon so groß, daß kein nennenswerter Platzwechsel mehr stattfinden kann.

Man muß nun beachten, daß die Bedingungen für die Entmischung bei hohen einseitigen oder allseitigen Drucken andere sein werden, so daß dann schon bei niedrigeren Temperaturen völlige Ausscheidung der triklinen Lamellen möglich wäre.

Entsprechende Druckversuche würden sicherlich manches Licht auf die mineralogisch so wichtige Frage der Entstehung von Lamellenfeldspäten werfen.

Zusammenfassung

Es wurden vier Alkalifeldspäte verschiedener chemischer Zusammensetzung röntgenographisch näher untersucht und die Ergebnisse besprochen. Die Kalium-Feldspatbereiche sind monoklin, während die triklinen Zellen nach dem Albitgesetz, dem Periklingesetz oder nach beiden Gesetzen verzwillingt sind. Fehlordnungen und diffuse Reflexe lassen gleichmäßige Übergänge der verschiedenen Zellbereiche vermuten. Gitterspannungen treten infolge des Längenunterschiedes von monokliner und trikliner a -Achse auf.

Besondere Beachtung wurde dem Verhalten der Feldspäte während des Homogenisierungsprozesses geschenkt. Die Auflösung der triklinen Bereiche setzt bereits zwischen 400° und 500° C ein, um bei höheren Temperaturen wesentlich rascher zu verlaufen. Hierbei erweisen sich die periklin-verzwillingten Zellbereiche wesentlich unbeständiger als die albit-verzwillingten. Völlig homo-

genisierte Feldspäte entmischen nicht mehr. Durch Abkühlen allein kann es nur zur Ausscheidung kommen, wenn noch triklin Keime vorhanden sind. Aber auch dann gerät die Entmischung ins Stocken, da die inneren Gitterverzerrungen ein Weiterwachsen energetisch nicht ermöglichen. Es wird der Versuch unternommen, an Hand der Keimbildungstheorie dies Verhalten zu deuten.

An dieser Stelle sei es mir gestattet, meinen hochverehrten Lehrern, Herrn Privatdoz. Dr. H. JAGODZINSKI, Herrn Prof. Dr. H. O'DANIEL und Herrn Prof. Dr. F. LAVES, aufrichtigen Dank auszusprechen für die Überlassung des Themas, manche Unterstützung und ihr stetes Interesse, das sie meiner Arbeit entgegenbrachten.

Ich danke gleichfalls Herrn Dr. E. HELLNER für wertvolle Fingerzeige und der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft für die Möglichkeit der Benutzung des Photometers und einiger Platingeräte.

Schrifttum

- (1) F. MACHATSCHKI: Cbl. Min. A (1928), 97.
- (2) W. H. TAYLOR: Z. Krist. **85** (1933), 425.
- (3) W. H. TAYLOR, S. DARBYSHIRE, H. STRUNZ: Z. Krist. **87** (1934), 464.
- (4) S. H. CHÃO, A. HARGREAVES, W. H. TAYLOR: Min. Mag. **25** (1940), 464.
- (5) W. F. CÔLE, H. SÖRUM, O. KENNARD: Acta Cryst. **2** (1949), 280.
- (6) E. MALLARD: Ann. Mines **10** (1876), 10.
- (7) S. KÔZU, V. ENDÔ: Sci. Rep. Tohoku, Ser. 3 (1921), Nr. 1.
- (8) S. KÔZU, M. SUZUKI: Sci. Rep. Tohoku, Ser. 3 (1931), Nr. 1.
- (9) A. HADDING: Univ. Arsskrift **2**, 17 (1921), Nr. 6.
- (10) E. SPENCER: Min. Mag. **130** (1930), 291.
- (11) — Min. Mag. **24** (1937), 453.
- (12) T. ITO: Z. Krist. **100** (1939), 297.
- (13) S. H. CHÃO, D. L. SMARE, W. H. TAYLOR: Min. Mag. **25** (1939), 338.
- (14) S. H. CHÃO, W. H. TAYLOR: Proc. Roy. Soc. A **174** (1940), 57.
- (15) H. JAGODZINSKI, F. LAVES: Schw. Min.-petr. Mitt. **28** (1948), Nr. 1.
- (16) R. BECKER: Z. Metallk. **29** (1937), 245.
- (17) R. BECKER: Proc. Phys. Soc. **51** (1940), 1.
- (18) H. JAGODZINSKI: Fortschr. Min. **28** (1949), 95.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 11. Mai 1951.



Abb. 3. LAUE-Aufnahmen v. Adular (Tirol). Primärstrahl parallel zur b -Achse.



Abb. 5. Adular. Schwenkaufnahme um b , mon. $\text{Cu K}\alpha$.

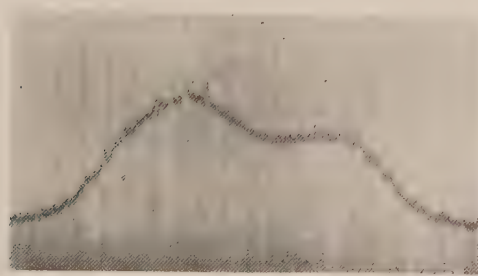


Abb. 7. Photometerkurve des Reflexes $(20\bar{1})$.

H. Saalfeld: Zu den Strukturbesonderheiten der K—Na-Feldspäte
in Abhängigkeit von ihrem Na-Gehalt.



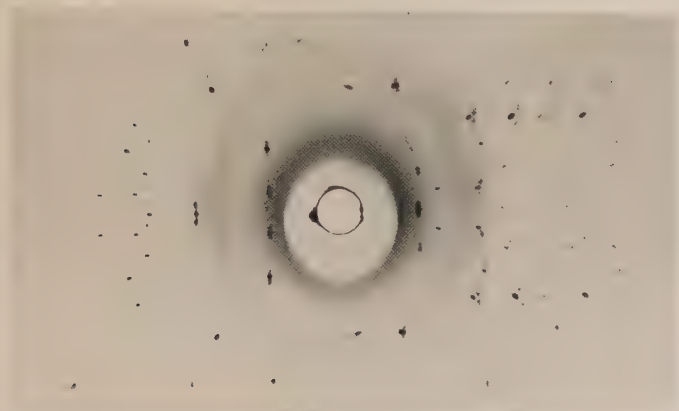


Abb. 8. Mondstein. Schwenkaufnahme um b (15°), mon. Cu K_α .

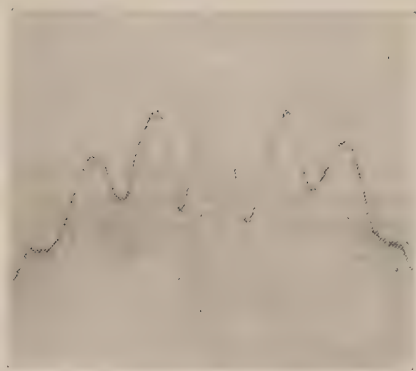


Abb. 9. Photometerkurve des Reflex (002).

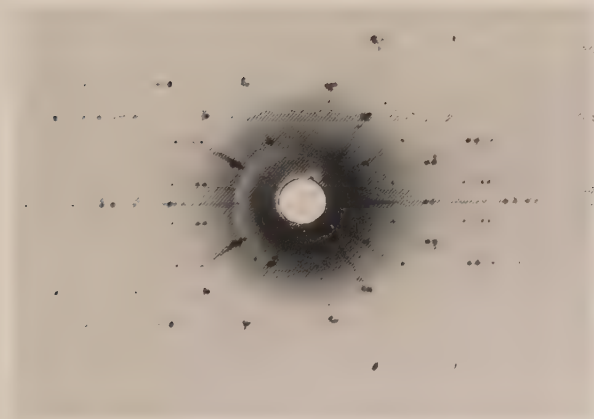


Abb. 13. Mikroperthit. Schwenkaufnahme (15°) um b , Cu K_α .

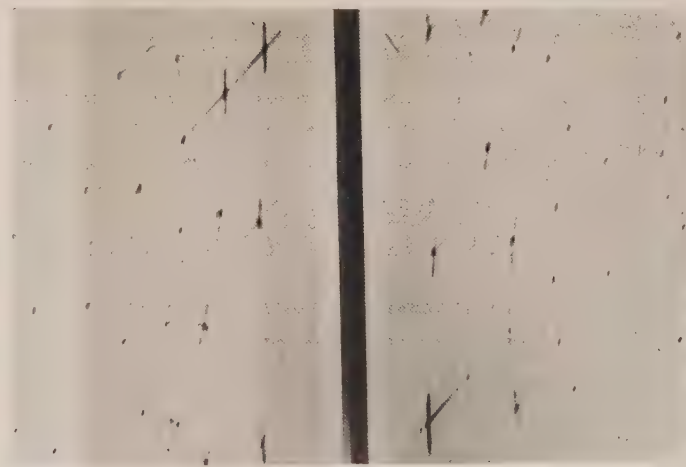


Abb. 14. Mikroperthit. WEISSENBERG-Aufnahme um a , Cu K_α .

H. Saalfeld: Zu den Strukturbesonderheiten der K—Na-Feldspäte in Abhängigkeit von ihrem Na-Gehalt.



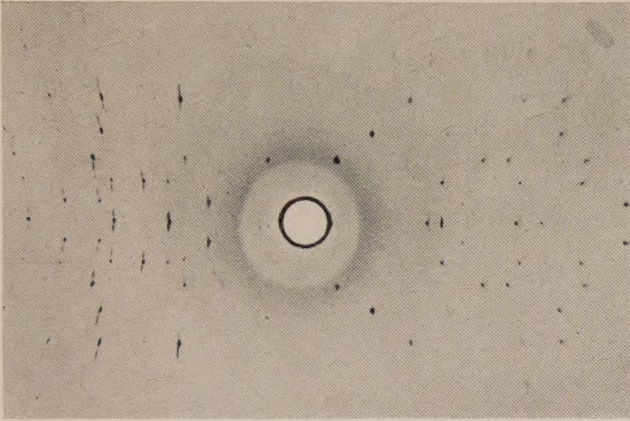


Abb. 15. Mondstein, 4 Std. b. 950°C getempert. Schwenkaufnahme um b,
mon. Cu K_{α} .

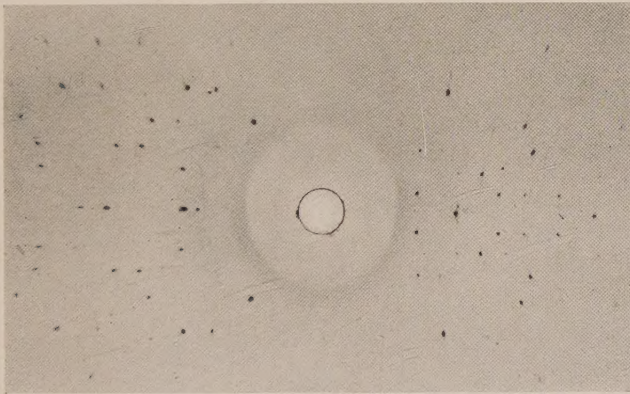


Abb. 16. Mikroperthit, 14 Tage b. 650°C getempert. Schwenkaufnahme um b,
mon. Cu K_{α} .

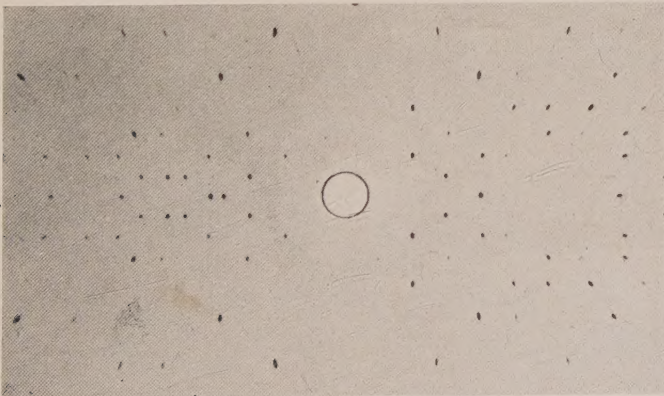


Abb. 17. Mondstein, 4 Wochen b. 1050° getempert. Schwenkaufnahme um b,
mon. Cu K_{α} .

Lebenslauf

Am 19. November 1920 wurde ich, Horst Saalfeld, als Sohn des damaligen Bankvorstandes der Reichsbank Ernst Saalfeld und seiner Ehefrau Herta, geb. Rupprecht, zu Königsberg in Ostpreußen geboren. Von 1926 bis 1930 besuchte ich die Grundschule in Frankfurt am Main. 1930 wurde mein Vater nach Koblenz versetzt. Dort trat ich in das Realgymnasium für Jungen ein. Als mein Vater infolge Erkrankung seine Versetzung in den Ruhestand beantragen mußte, kam ich auf das Realgymnasium nach Marburg/Lahn, das ich 1939 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

Arbeits- und Wehrdienst hinderten mich daran, mein Studium zu beginnen. Erst 1945 konnte ich mich an der Philipps-Universität in Marburg immatrikulieren lassen. Die wesentlichen Fächer meines Studiums waren Mineralogie, Physik und Chemie.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten: E. ASMUS, H. O'DANIEL, S. FLÜGGE, E. GRÜNEISEN, C. HERRMANN, L. HOCK, E. HÜCKEL, H. JAGODZINSKI, W. JOST, H. KAUTSKY, W. KLÜPFEL, F. LAVES, C. MAHR, H. MEERWEIN, K. NEUMANN, K. REIDEMEISTER, M. RENNINGER, N. SCHMAHL, E. VOGT.
